

УДК 524.33

Молодые звезды солнечной массы

П.П. Петров

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 6 октября 2005 г.

Изучение активности звезд, находящихся на ранних стадиях эволюции, проводится в КрАО более 30 лет. До 1980-х годов это были фотометрические наблюдения звезд с магнитной активностью (см. обзор П.Ф.Чугайнова (1991)) и спектральные наблюдения низкого разрешения. С середины 1980-х годов, с появлением ПЗС-светоприемников, на ЗТШ были начаты регулярные наблюдения звезд типа Т Тельца с высоким спектральным разрешением. Наблюдательные данные, накопленные к середине 1970-х годов, позволили сформулировать концепцию магнитной активности молодых звезд (Петров и Щербаков (1976), Гершберг и Петров (1976)), согласно которой наблюдаемую активность молодых звезд солнечной массы можно объяснить теми же процессами, которые действуют на Солнце, предполагая существование на этих звездах крупномасштабных структур магнитного поля с напряженностью на поверхности порядка килогаусса. Исследования 1980-х и 1990-х годов показали, что магнитные поля, наряду с аккрецией вещества на звезду, играют ключевую роль в процессах активности звезд типа Т Тельца.

По современным представлениям, звезды образуются в результате гравитационного коллапса фрагментов ядер плотных молекулярных облаков. Гигантские молекулярные облака являются самыми массивными объектами в Галактике (10^5 – $10^6 M_{\odot}$). Они состоят из фрагментов меньшей массы, размером 2-5 пс, с температурой порядка 10К и плотностью несколько сотен молекул водорода в см^3 . Массивные горячие звезды образуются только в гигантских молекулярных облаках, сконцентрированных в спиральных рукавах Галактики. Менее массивные облака, где образуются звезды меньшей массы, более равномерно распределены по галактическому диску. Звездообразование продолжается в настоящее время, и это дает возможность изучать прошлую историю Солнца, наблюдая звезды солнечной массы на ранних стадиях их эволюции.

Молодые звезды солнечной массы известны как неправильные переменные типа Т Тельца (TTS). Они отличаются характерным эмиссионным спектром низкого возбуждения, напоминающим спектр солнечной хромосферы. Большинство TTS имеют сравнительно слабый эмиссионный спектр – только H α и H, K Ca II видны в эмиссии – это так называемые Weak-Line TTS (WTTS). Около 10% TTS имеют сильные эмиссионные спектры и большую амплитуду переменности. Это классические TTS (CTTS). Классические TTS отличаются значительными избытками излучения в инфракрасной (ИК) и ультрафиолетовой (УФ) областях спектра. У них наблюдаются спектральные признаки как истечения, так и аккреции вещества. По фотосферным спектрам TTS классифицируют как звездочки поздних спектральных типов. На диаграмме Герцшпрунга-Рессела звезды типа Т Тельца расположены справа от главной последовательности, в области теоретических эволюционных треков звезд с массой $< 3 M_{\odot}$ и с возрастом порядка 1-10 миллионов лет, и занимают область как конвективных, так и радиативных треков. Для TTS характерна переменность блеска и эмиссионного спектра на временных интервалах от минут до дней, месяцев и лет. Фотометрическая и спектральная переменность WTTS обусловлена магнитной активностью. Для некоторых TTS была

измерена напряженность магнитного поля на поверхности звезды – около 1-2 кГс. Магнитные поля проявляют себя косвенным образом в таких эффектах, как холодные пятна на уровне фотосферы и рентгеновское излучение короны. Интенсивность рентгеновского излучения TTS зависит от скорости вращения звезды, что указывает на механизм генерации магнитного поля, аналогичный солнечному. Классические TTS имеют гораздо большую амплитуду нерегулярной переменности блеска, что связано, в основном, с процессами аккреции. В некоторых случаях фотометрическая переменность TTS вызвана затмениями звезды пылевыми облаками околозвездного диска.

ИК-избытки CTTS обусловлены излучением пыли в околозвездных дисках. Характерный размер диска составляет порядка 100 а.е. Массы дисков CTTS в большинстве случаев находятся в пределах 0.01-0.1 M_{\odot} . Диски могут быть не только пассивными, переизлучающими свет центральной звезды, но и активными, аккреционными, в этом случае их светимость может превышать светимость центральной звезды. Предполагается, что УФ-избытки также обусловлены присутствием аккреционного диска: аккреция вещества диска на поверхность звезды приводит к образованию высокотемпературного ударного фронта. Присутствие горячих источников на поверхности звезды можно заметить по эффекту вуалирования фотосферного спектра, а падение вещества на звезду часто проявляется в профилях эмиссионных линий. Более заметен, однако, обратный процесс – интенсивное истечение вещества (ветер). Темп потери массы CTTS оценивается как 10^{-8} – 10^{-7} M_{\odot} в год, что соответствует механическому потоку энергии от 1% до 10% болометрического потока излучения звезды. Часть истекающего вещества коллимирована в узкие струи (джеты), наблюдаемые обычно в свете запрещенных эмиссионных линий [S II], [N II] и др. Протяженность джетов CTTS составляет сотни астрономических единиц. Механизм потери массы CTTS, очевидно, связан с механизмом аккреции, так как наблюдается корреляция между индикаторами ветра (светимость в линии H α и в запрещенных линиях) и индикаторами дисковой аккреции (ИК светимость). У некоторых CTTS наблюдается квази-периодическая переменность профилей спектральных линий, указывающая на аксиальную асимметрию аккреции и ветра, что обусловлено, по-видимому, структурой магнитного поля звезды.

Моделирование процессов, происходящих на TTS, проводилось по трем основным направлениям: хромосферная или магнитная активность (большинство работ опубликовано в 60-70х годах), звездный ветер (работы 80-х годов) и аккреционная активность (90-е годы). В моделях магнитосферной аккреции взаимодействие аккреционного диска с магнитным полем звезды приводит к тому, что в большинстве случаев диск не достигает поверхности звезды: на расстоянии нескольких радиусов звезды магнитное поле останавливает дисковую аккрецию и направляет движение газа (частично ионизованного) вдоль силовых линий магнитного поля. Если магнитосфера имеет дипольную структуру, то околозвездный газ, первоначально сконцентрированный в экваториальной плоскости, заканчивает свое падение на высоких широтах поверхности звезды. В основании аккреционных колонок на поверхности звезды образуется ударный фронт – горячее пятно или кольцо вокруг магнитного полюса. Предполагается, что излучение этих горячих пятен ответственно за УФ избытки и вуалирование фотосферного спектра CTTS. Взаимодействие звезды с околозвездным диском посредством магнитного поля рассматривается также как один из механизмов потери углового момента звезды на фазе эволюции до главной последовательности.

Наиболее полные обзоры наблюдаемых характеристик и моделей TTS даны в работах Аппенцеллер и Мундт (1989), Берту (1989), Басри и Берту (1993), Петров (2003).

Литература

- Аппенцеллер, Мундт (Appenzeller I., Mundt R.T.) // *Astron. Astrophys. Rev.* 1989. V. 1. P. 291
 Басри, Берту (Basri G., Bertout C.) // *Protostars and Planets III*. eds. E.H. Levy, J.I. Lunine. Tucson. Univ. Arizona. 1993. P. 553.
 Берту (Bertout C.) // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 1989. V. 27. P. 351.
 Гершберг Р.Е., Петров П.П. // *Письма в Астрон. журн.* 1976. Т. 2. No 10. С. 499.

Петров П., Щербаков А. // Труды III Европейской астрономической конференции "Звезды и галактики в наблюдательном аспекте. Тбилиси 1-5 июля 1975". Ред. Е.К. Харадзе. Тбилиси. Мецниереба. 1976. С. 163.

Петров П.П. // Астрофизика. 2003. Т. 46. вып. 4. С. 611.

Чугайнов П.Ф. // Астрофизика. 1991. Т. 34. вып. 2. С. 271.